

(9) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-214798

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月6日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

33/00

33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-11590

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月23日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 小崎 徳也

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

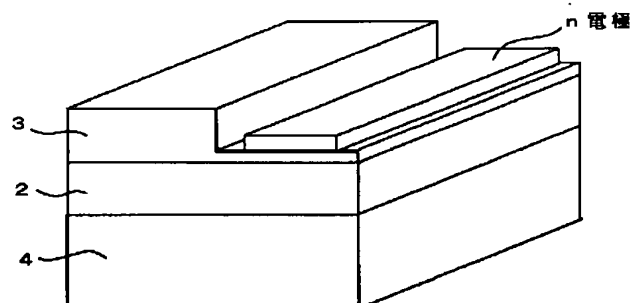
学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子の製造方法及び窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 サファイア基板を除去してもG a N基板に反り、割れ、及び欠けなどが発生するのを防止し、容易にウエハをチップ化できると共に、劈開の際のG a N基板の不要な割れを防止することができ、更に放熱性の良好な窒化物半導体素子の製造方法及び窒化物半導体素子を提供することである。

【解決手段】 第1の異種基板上にG a N基板2を形成し、その上に素子構造3を積層した後又は積層する前に、第1の異種基板を取り除き露出されたG a N基板面に劈開性の第2の異種基板4を接合する。又は80  $\mu$  m以上のG a N基板2を形成し第1の異種基板を除去し露出した面とは反対側の面に素子構造3を形成し、第2の異種基板4を接合させない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 窒化物半導体と異なる材料よりなる第 1 の異種基板上に GaN を成長させて GaN 基板となし、その GaN 基板の上に窒化物半導体素子構造を積層した後、第 1 の異種基板を取り除き露出された素子構造を有していない GaN 基板の面に、窒化物半導体と異なる材料よりなり劈開性を有する第 2 の異種基板を接合して、その第 2 の異種基板を劈開することを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2】 窒化物半導体と異なる材料よりなる第 1 の異種基板上に GaN を成長させて GaN 基板となし、第 1 の異種基板を GaN 基板から除去し、その GaN 基板の一方の面上に窒化物半導体素子構造を積層した後、素子構造を有していない GaN 基板の他の面に、窒化物半導体と異なる材料よりなり劈開性を有する第 2 の異種基板を接合して、その第 2 の異種基板を劈開することを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 3】 前記第 2 の異種基板が、GaN 基板の劈開方向と第 2 の異種基板の劈開方向とが実質的に一致するように、素子構造を有していない GaN 基板の面に接合されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4】 窒化物半導体と異なる材料よりなる第 1 の異種基板上に厚膜に GaN を成長させて GaN 基板を形成し、第 1 の異種基板を除去することで  $80\mu\text{m}$  以上の GaN 基板となし、その GaN 基板の一方の面上に窒化物半導体素子構造を積層したことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 5】 GaN 基板に第 1 の主面と第 2 の主面を有し、GaN 基板の第 1 の主面上に窒化物半導体素子構造が形成されて成り、GaN 基板の第 2 の主面に、窒化物半導体と異なる材料よりなり劈開性を有する第 2 の異種基板が接合されて成ることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 6】 前記第 2 の異種基板は、窒化物半導体と異なる第 1 の異種基板上に GaN 基板が形成され、第 1 の異種基板と接する面とは反対の GaN 基板の第 1 の主面に素子構造を形成した後に、第 1 の異種基板を取り除き GaN の第 2 の主面を露出させ、その後に GaN 基板の第 2 の主面に接合されて成ることを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 7】 前記第 2 の異種基板は、窒化物半導体と異なる第 1 の異種基板上に GaN 基板を形成させた後、GaN 基板から第 1 の異種基板を除去して GaN 基板に第 1 の主面と第 2 の主面を形成し、GaN 基板の第 1 の主面に素子構造を形成した後、GaN 基板の第 2 の主面に接合されて成ることを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】 GaN 基板と第 2 の異種基板とは互いに劈開方向が実質的に一致していることを特徴とする請求

項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 窒化物半導体と異なる材料よりなる第 1 の異種基板上に GaN を成長させて GaN 基板を形成し、第 1 の異種基板を除去することで  $80\mu\text{m}$  以上の GaN 基板を有し、その GaN 基板の一方の面上に窒化物半導体素子構造を積層されてなることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 10】 請求項 9 において、第 1 の異種基板がサファイアであり、窒化物半導体素子が第 1 の異種基板を除去して露出された面とは反対側の面に形成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は発光ダイオード、レーザダイオード等の発光デバイス、又はフォトダイオード等の受光デバイスに使用される窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$ ) よりなる素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、窒化物半導体からなる青色、青緑色の発光ダイオード、レーザダイオードが実用化されたり実用可能になっている。このような窒化物半導体素子は、現在のところ窒化物半導体と完全に格子整合する基板が未だ開発されていないために、格子定数が異なるサファイアの上に窒化物半導体層を強制的に成長させて形成されている。そのためサファイア基板上に成長された窒化物半導体の結晶には、格子整合した基板上に成長された赤色レーザ素子等と比べると、非常に多くの結晶欠陥が発生する。

【0003】本発明者等は、結晶欠陥を大幅に低減できる窒化物半導体の結晶成長方法として、窒化物半導体と異なる異種基板上に GaN 基板を形成し、その GaN 基板上に素子構造を形成することにより、波長約  $400\text{nm}$ 、光出力  $2\text{mW}$  で連続発振約 1 万時間を達成できる窒化物半導体レーザ素子などを開示している (例えば「InGa<sub>N</sub>系多重量子井戸構造半導体レーザの現状」, 第 58 回応用物理学学会学術講演会, 講演番号 4aZC-2, 1997 年 10 月, "Present Status of InGa<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub> based Laser Diodes", The Second International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS'97), 講演番号 S-1, 1997 年 10 月などに記載されている)。

【0004】上記の結晶成長方法は、サファイア基板上に、従来の結晶欠陥が非常に多い GaN 層を薄く成長させ、その上に  $\text{SiO}_2$  よりなる保護膜を部分的に形成し、その保護膜の上からハライド気相成長法 (HVPE)、有機金属気相成長法 (MOVPE) 等の気相成長

法により、GaNの横方向への成長を利用し、再度GaN層を成長させることにより結晶欠陥の少ないGaN基板（膜厚10μm）を形成する技術である。この方法は窒化物半導体を保護膜上で横方向に成長させることから、一般にラテラルオーバーグロウス（lateral over growth: LOG）と呼ばれている。

【0005】上記技術において、結晶欠陥が少なくなったGaN基板を用いることにより素子の性能の向上が見られたものの、上記窒化物半導体素子の基板とされているサファイアは、非常に硬く劈開性がないために、ウエハをチップ化するのに高度な技術が必要とする。更に、サファイアには劈開性がないために、レーザ素子の形成において基板の劈開性を用いて窒化物半導体の劈開面を共振面としくく、共振面の形成に時間と手間が掛かる。

【0006】また、n電極とp電極とが水平方向に並んでいるため電流が水平方向に流れ、その結果、電流密度が局部的に高くなりチップが発熱し易いが、基板が絶縁性のサファイアであるために熱が外部に放散しにくい。上記諸問題に対して、本発明者等は、サファイア基板をウエハから除去することによって、ウエハのチップ化、劈開性及び放熱性などの上記問題点を解決できるのではないかと考えた。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、サファイア基板を除去すると、GaN基板の物理的強度がデバイス工程で耐えうるに十分なものではなく、ウエハにクラック及び欠けなどが発生しやすくなることがわかった。更に、ウエハの物理的強度の低下によりウエハが崩れ易く、ウエハ1枚から得られるチップの枚数が少なくなる。

【0008】また、サファイア基板を物理的又は化学的に除去されたGaN基板面と素子構造を有するGaN基板面の表面状態が異なるのでウエハの反りが大きくなる傾向がある。また更に、GaN基板にわずかに劈開性があるにもかかわらず、劈開する力によって、劈開面以外の方向に割れが生じ素子の性能が低下すると共に共振面が得られにくくなる。

【0009】このような問題点は、各デバイス工程をしにくくするばかりか、歩留まりを低下させる。つまり、サファイア基板を除去しただけでは、上記サファイア基板があることによる問題点を十分に解決することができないばかりか、新たな問題点さえ生じる。

【0010】そこで、本発明の目的は、ウエハの物理的強度の向上、ハンドリング性の向上を行うために、サファイア基板を除去してもウエハに反り、割れ、及び欠けなどが発生するのを防止し、更に容易にウエハをチップ化できると共に、劈開の際のウエハの不要な割れを防止することができる窒化物半導体素子の製造方法及び窒化物半導体素子を提供することである。更に本発明の目的

は、放熱性の良好な窒化物半導体素子の製造方法及び窒化物半導体素子を提供することである。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は下記構成によって本発明の目的を達成することができる。

(1) 窒化物半導体と異なる材料よりなる第1の異種基板上にGaNを成長させてGaN基板となし、そのGaN基板の上に窒化物半導体素子構造を積層した後、第1の異種基板を取り除き露出された素子構造を有していないGaN基板の面に、窒化物半導体と異なる材料よりなり劈開性を有する第2の異種基板を接合して、その第2の異種基板を劈開することを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

(2) 窒化物半導体と異なる材料よりなる第1の異種基板上にGaNを成長させてGaN基板となし、第1の異種基板をGaN基板から除去し、そのGaN基板の一方の面上に窒化物半導体素子構造を積層した後、素子構造を有していないGaN基板の他の面に、窒化物半導体と異なる材料よりなり劈開性を有する第2の異種基板を接合して、その第2の異種基板を劈開することを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

(3) 前記第2の異種基板が、GaN基板の劈開方向と第2の異種基板の劈開方向とが実質的に一致するように、素子構造を有していないGaN基板の面に接合されていることを特徴とする前記(1)又は(2)に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

(4) 窒化物半導体と異なる材料よりなる第1の異種基板上に厚膜にGaNを成長させてGaN基板を形成し、第1の異種基板を除去することで80μm以上のGaN基板となし、そのGaN基板の一方の面上に窒化物半導体素子構造を積層したことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

(5) GaN基板に第1の主面と第2の主面を有し、GaN基板の第1の主面上に窒化物半導体素子構造が形成されて成り、GaN基板の第2の主面に、窒化物半導体と異なる材料よりなり劈開性を有する第2の異種基板が接合されて成なることを特徴とする窒化物半導体素子。

(6) 前記第2の異種基板は、窒化物半導体と異なる第1の異種基板上にGaN基板が形成され、第1の異種基板と接する面とは反対のGaN基板の第1の主面に素子構造を形成した後に、第1の異種基板を取り除きGaNの第2の主面を露出させ、その後にGaN基板の第2の主面に接合されて成ることを特徴とする前記(5)に記載の窒化物半導体素子。

(7) 前記第2の異種基板は、窒化物半導体と異なる第1の異種基板上にGaN基板を形成させた後、GaN基板から第1の異種基板を除去してGaN基板に第1の主面と第2の主面を形成し、GaN基板の第1の主面に素子構造を形成した後、GaN基板の第2の主面に接合

されて成ることを特徴とする前記(5)に記載の窒化物半導体素子。

(8) GaN基板と第2の異種基板とは互いに劈開方向が実質的に一致していることを特徴とする前記(5)～(7)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

(9) 窒化物半導体と異なる材料よりなる第1の異種基板上にGaNを成長させてGaN基板を形成し、第1の異種基板を除去することで80 $\mu$ m以上のGaN基板を有し、そのGaN基板の一方の面上に窒化物半導体素子構造を積層されてなることを特徴とする窒化物半導体素子。

(10) 前記(9)において、第1の異種基板がサファイアであり、窒化物半導体素子が第1の異種基板を除去して露出された面とは反対側の面に形成されていることを特徴とする前記(9)に記載の窒化物半導体素子。

【0012】つまり、本発明は、GaN基板の第1の異種基板を除去した面又はGaN基板の素子構造を有していない面に、劈開性を有する第2の異種基板を接合することにより、GaN基板を有してなるウエハの物理的強度を向上させ、ウエハの反りの防止や、クラック及び欠けの発生の防止を可能にすることができる。異種基板を除去してから素子構造を作成し、第2の異種基板を接合させる場合、素子構造を形成する面は第1の異種基板を除去して露出した面とは反対の面に形成することが、結晶性の良い素子構造を得ることができるので好ましい。このようにGaN基板に第2の異種基板を接合することにより、GaN基板がデバイス工程に耐え得る物理的強度を持ち、それによってウエハの物理的強度の向上とハンドリング性の向上が達成できる。

【0013】更に本発明は、GaNを厚く成長させて第1の異種基板を取り除き80 $\mu$ m以上のGaN基板とすることにより、GaN基板単体でも十分な物理的強度を持つことができるようになる。この場合は、第1の異種基板を除去した後、GaN基板の第1の異種基板を除去して露出された面とは反対の面に素子構造を作成することにより、結晶性の良い素子構造ができる。また、GaN基板の厚さは、強度を持たせるために80 $\mu$ m以上が良い。

【0014】更に本発明は、第2の異種基板が劈開性であることから、第2の異種基板と共にGaN基板を劈開すると、GaN基板に不要な割れが発生せず、劈開面を良好に形成することが可能となる。このような劈開性は、第2の異種基板の劈開方向とGaN基板の劈開方向が実質的に一致していると更に良好となる。劈開性が良好になると、例えば劈開により共振面を形成する場合に良好な劈開面が得られ易く成る。また、80 $\mu$ m以上のGaN基板を用いる場合は、劈開する際のGaN基板の不要な割れを防止することができ、劈開性が良好になる。

【0015】更に本発明は、第1の異種基板(例えばサ

ファイアやスピネルなど)をGaN基板から除去しているので、素子内で発生する熱の放散がより良好になる。この熱の放散は、素子構造を有していないGaN基板の面に接合されている第2の異種基板が高熱伝導性であると更に良好となり、場合によってはヒートシンクを新たに設ける必要がなくなる。また、膜厚が80 $\mu$ m以上のGaN基板の場合は、GaN自体が熱伝導性が比較的良く、GaNの膜厚が80 $\mu$ m以上と厚くても従来のものに比べ放熱性が良好である。80 $\mu$ m以上の場合のGaN基板の膜厚の上限は放熱性などの点から500 $\mu$ m以下である。

【0016】また従来においては、サファイア基板が絶縁性であるために窒化物半導体の同一表面にn電極及びp電極が設けられたフリップチップ方式となり、同一面側から両方の電極を取り出すのでチップサイズが大きくなり多数のチップが1枚のウエハから得られなかった。これに対し、本発明は、第2の異種基板が、劈開性を有すると共に導電性の材料であると、第2の異種基板面にn電極を形成することができ、チップサイズを小さくすることが可能となり、1枚のウエハから多数のチップが形成できる。また第2の異種基板を接合しなくても良い80 $\mu$ m以上のGaN基板を用いる場合も、上記と同様にチップサイズを小さくすることができる。

【0017】本発明において、GaN基板の膜厚が80 $\mu$ m未満の場合は第2の異種基板を接合することが本発明の効果を得るために必要であるが、80 $\mu$ m以上であっても物理的強度をより一層確実にするために第2の異種基板を接合しても良い。また80 $\mu$ m以上のGaN基板の場合は、第2の異種基板を接合せなくてもデバイス工程等での物理的強度が十分である。一方、この80 $\mu$ m以上のGaN基板に第2の異種基板を接合させると、放熱性がやや低下する傾向がある。従って、本発明は、GaN基板の膜厚が80 $\mu$ m未満の場合は第2の異種基板の接合を必要とし、GaN基板の膜厚が80 $\mu$ m以上の場合は第2の異種基板を接合せなくてもよい。

【0018】本発明において、GaN基板とは、異種基板上に形成された窒化物半導体上に保護膜を形成し、その保護膜上に窒化物半導体の横方向の成長を利用して成長された結晶欠陥の少ない窒化物半導体層を示す。

【0019】

【発明の実施の形態】以下に図1～図4を用いて本発明を詳細に説明する。図1～図4は本発明の製造工程及び素子構造の一実施の形態を示した模式断面図である。図4に示されるGaN基板に第2の異種基板を接合させた窒化物半導体素子の製造を、図1～図3に示される各工程からなる製造方法に従って説明する。また、第2の異種基板を有していない80 $\mu$ mの膜厚を有するGaN基板を用いて素子構造を形成した場合については図4の素子の製造工程と異なる部分の内容をその都度加えて説明する。

【0020】まず図1に示すように、窒化物半導体と異なる第1の異種基板1上にGa N基板2を成長させる。Ga N基板2の成長方法としては、いずれの方法によって形成されても良く、好ましくは窒化物半導体の横方向の成長[Lateral over growth (LOG)、ラテラル成長]によって成長されるのが結晶欠陥が少なくなり好ましい。図1は、第1の異種基板1上にGa Nよりなる薄膜のバッファ層(図示されていない)を成長させ、続いてGa Nより成るバッファ層より厚膜の窒化物半導体層101を成長させ、その窒化物半導体層101上に窒化物半導体が縦方向に成長しにくい、例えばSiO<sub>2</sub>からなる保護膜102を形成させた後、Ga Nのラテラル成長を利用して低結晶欠陥のGa N基板2を厚膜に成長させている。ラテラル成長方法において、上記バッファ層は省略してもよい。本発明において用いることのできるラテラル成長は特に限定されず、いずれの方法を用いてもよい。このようなラテラル成長によって得られる結晶欠陥の少ないGa N基板2に素子構造を形成すれば、素子性能がより向上する。

【0021】本発明において、用いられるラテラル成長の一実施の形態として以下に数例を記載する。例えば、第1のラテラル成長の方法としては、窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に窒化物半導体を成長後、若しくは成長前に、その窒化物半導体層表面、若しくは異種基板の表面に、窒化物半導体が縦方向に成長しにくい性質を有する保護膜を、例えばストライプ状、ドット状、基盤目状等の形状で形成し、その保護膜上に窒化物半導体を横方向に成長させる方法である。第1の方法では保護膜を形成するに際し、保護膜形成面積と、露出面積(窓部)とを比較した場合、窓部の面積を少なくする方が、結晶欠陥の少ない領域が多い下地層が得られる傾向にある。

【0022】その他に第2のラテラル成長の方法としては、異種基板上に成長させた窒化物半導体表面に凹凸部を形成し、その凸部及び凹部の平面上に前記保護膜を形成した後、側面に露出した窒化物半導体より横方向の成長を行い、保護膜上部に互いに横方向に成長した窒化物半導体を繋げる方法である。

【0023】上記第1及び第2のラテラル成長の方法において、前記保護膜を形成することにより、異種基板と窒化物半導体との格子定数不整、熱膨張係数差等の要因によって発生する窒化物半導体の結晶欠陥を止めることができる。つまり、窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上部に形成され、かつ窒化物半導体が縦方向に成長しにくい性質を有する例えばストライプ状の保護膜上部に横方向に成長された窒化物半導体は、全体的に見て結晶欠陥が著しく減少するが、微視的に見ると比較的結晶欠陥の多い領域と、少ないあるいはほとんど発生していない領域とを有している。このような結晶欠陥の数の偏りは、恐らく、保護膜形成後、その保護膜及び窓部

(保護膜が形成されていない部分)の上に再度窒化物半導体を成長させると、窓部の下にある窒化物半導体から横方向に窒化物半導体の成長を促進させて、保護膜上部にまで窒化物半導体を成長させる際に生じるのではないかと考えられる。

【0024】ラテラル成長により得られるGa N下地層の結晶欠陥は、多い領域で $1 \times 10^8$ 個/cm<sup>2</sup>以上あり、少ない領域では $1 \times 10^7$ 個/cm<sup>2</sup>以下となる。Ga N下地層の結晶欠陥の少ない領域は好ましくは $5 \times 10^6$ 個/cm<sup>2</sup>以下、さらに好ましくは $1 \times 10^6$ 個/cm<sup>2</sup>以下、最も好ましくは $5 \times 10^5$ 個/cm<sup>2</sup>であることが望ましい。結晶欠陥は、例えば窒化物半導体をドライエッチングした際、そのエッチング面に表出するエッチピットの数に計測することにより測定できる。あるいは断面TEMによっても観測できる。

【0025】また、本発明の窒化物半導体素子では、ラテラル成長させて得られたGa N基板の比較的結晶欠陥の多い部分上部にある活性層の面積を少なくする。特にレーザ素子では、この部分には発振領域を設けずに、結晶欠陥の少ないあるいはほとんど発生していない領域上部にレーザ発振領域を設けることが好ましい。

【0026】上記ラテラル成長によって用いられる保護膜102の材料としては、例えば酸化ケイ素(SiO<sub>x</sub>)、窒化ケイ素(Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>)、酸化チタン(TiO<sub>x</sub>)、酸化ジルコニウム(ZrO<sub>x</sub>)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜の他、1200℃以上の融点を有する金属等を用いることができる。これらの保護膜材料は、窒化物半導体の成長温度600℃~1100℃の温度にも耐え、その表面に窒化物半導体が成長しないか、若しくは成長しにくい性質を有している。

【0027】またGa N基板に第2の異種基板を接合させる場合のGa N基板の膜厚は、10~80μm未満、好ましくは20~75μm、より好ましくは30~60μmである。Ga N基板の膜厚が上記範囲であると反りを良好に抑えられ、物理的強度の向上が得られ、更に結晶性が良好となり好ましい。Ga N基板に第2の異種基板を接合しない場合のGa N基板の膜厚は、第1の異種基板や保護膜等を除去した後のGa N基板の膜厚が80μm以上になるように調整される。この場合のGa N基板の膜厚は、80~500μm、好ましくは100~300μm、より好ましくは100~200μmである。膜厚がこの範囲であると、Ga N基板の物理的強度等が良好になる。

【0028】ここでGa N基板は、第2の異種基板が接合されているか否かは別として、Ga N基板の膜厚が薄いと崩れやすくなる傾向があり、又あまり厚すぎると放熱性が十分でなくなる恐れがある。よって、Ga N基板の膜厚は、第2の異種基板を接合する場合と、しない場合とで、それぞれ物理的強度に放熱性を加味しながら調整されている。更には結晶性が良好となる範囲でもあ

る。

【0029】また従来GaNを厚膜に成長させると結晶欠陥が発生し易くなり、この多量に発生した結晶欠陥のためGaN膜に割れが生じやすくなる傾向があった。しかし、上記ラテラル成長させた場合、成長初期に比べ、あるほぼ一定の厚膜に成長させた成長後期の部分の膜は、著しい結晶欠陥の減少が見られた。この理由は明らかではないが、恐らく横方向の成長と縦方向の成長する際にこう言った現象が生じるのではないかと思われる。更に結晶欠陥が減少する膜厚からさらにある程度の膜厚に成長させるとGaNに割れが起こりにくくなる。そして、結晶欠陥が減少する程度の膜厚と、第1の異種基板を除去し上記のような第2の異種基板を接合せずとも物理的強度が得られる膜厚とを種々検討することにより、GaN基板を80 $\mu$ m以上の膜厚とすることで本発明の目的を達成することができる。

【0030】本発明において、第1の異種基板としては、窒化物半導体を成長させる際に基板として用いられる材料であれば特に限定されない。しかし、本発明においては、劈開性のない異種基板を用いた場合に生じる問題点を解決することを目的としているので、特に劈開性のない異種基板、例えばC面、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル(MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)のような絶縁性の劈開性のない基板を用いる。

【0031】次に、上記ラテラル成長によって得られた結晶欠陥の少ないGaN基板に素子構造を形成する工程について下記に説明する。本発明においては、素子構造をGaN基板に形成する場合、図2の(a)に示すように第1の異種基板を除去せずにGaN基板に素子構造を形成しても、図2の(b)に示すように第1の異種基板を除去してからGaN基板に素子構造を形成してもよい。

【0032】以下に図2の(a)の場合について説明する。図2に示すように、第1の異種基板1を除去せずに、ラテラル成長によって形成されたGaN基板2の第1の異種基板1と反対側の面(第1の主面)に少なくとも活性層を有する複数の素子構造3を形成する。窒化物半導体素子構造となる複数の窒化物半導体層の積層成長の方法は、特に限定されず、例えば従来公知の方法を用いることができる。

【0033】活性層を有する素子構造3を積層成長させた後、リッジ構造の形成や、n電極を形成するためにn側導電層を露出させる等、窒化物半導体をエッチングするには、ウェットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、例えばドライエッチングとして、反応性イオンエッチング(RIE)、反応性イオンビームエッチング(RIBE)、電子サイクロトロンエッチング(ECR)、イオンビームエッチング等の装置があり、いずれもエッチングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッチングすることができる。例えば、本出願人

が先に出願した特開平8-17803号公報記載の窒化物半導体の具体的なエッチング手段を用いることができる。

【0034】エッチングにより、リッジ形成とn側導電層の露出を行った後に、p電極及びn電極をそれぞれ形成する。本発明において、GaN基板に導電性の第2の異種基板が接合されている場合は、n電極を第2の異種基板上に形成してもよい。n電極を第2の異種基板上に形成するとチップサイズを小さくすることが可能となり、1枚のウエハから多数のチップが得られる。

【0035】各電極を形成後に、ウエハ(GaN基板から)から第1の異種基板1を、例えば研磨、エッチング等の技術を用いて除去して第1の異種基板1と接していたGaN基板2の面(第2の主面)を露出させる。第1の異種基板1を除去する際に、図1に示される窒化物半導体層101、保護膜102及びバッファ層(図示されていない)の全部と、GaN基板2の一部も除去される。また、研磨により第1の異種基板1などを除去する際に研磨厚が制御しにくい場合は、最初に研磨により大まかな部分を除去し、その後エッチングで細かい部分を除去して、GaN基板2の第2の主面を露出させてもよい。

【0036】次に、図2の(b)に示すようにGaN基板から第1の異種基板を除去してからGaN基板に素子構造を形成する場合について説明する。この場合は、素子構造を形成する前に、第1の異種基板をGaN基板から上記した研磨やエッチング等の方法により除去し、その後、GaN基板に素子構造を形成する。その他、エッチング方法などは、図2の(a)の場合と同様の内容である。また、図2の(b)の場合、第1の主面と第2の主面は、GaN基板から第1の異種基板を除去しているので、素子構造を有しているGaN基板の面を第1の主面とし、第1の異種基板を除去し露出され素子構造を有していないGaN基板の面を第2の主面とする。第1の主面に素子構造を形成すると、結晶性の良好な素子が得られるので好ましい。また第2の主面に素子構造を形成してもよい。

【0037】ここで、GaNを厚膜に成長させて80 $\mu$ m以上のGaN基板を用いる場合は図2の(b)と同様に第1の異種基板や保護膜を除去した後、第1の異種基板を除去して露出された面とは反対の面に、素子構造を形成する。そして図2の(b)とは異なり第2の異種基板を接合せない。またGaN基板の第1の主面と第2の主面の定義は図2の(b)の場合と同様の内容である。また素子構造を形成する際、GaN基板から第1の異種基板を除去してから素子構造を成長させると、第1の異種基板との格子定数不整による反りが軽減され好ましい。

【0038】次に、図3に示すように、第1の異種基板を除去して露出させた又は素子構造を有していないGaN

N基板2の第2の主面に劈開性を有する第2の異種基板4が接合される。好ましくはGa N基板2の劈開方向と第2の異種基板4の劈開方向とが実質的に一致するようにGa N基板2の第2の主面に第2の異種基板4を接合する。ここで前記「実質的に一致する」とは、完全に劈開方向が一致していなくてもよく、例えば第2の異種基板4を接合した後でウェハを劈開してチップ状にする際に、第2の異種基板4の劈開方向で劈開を始めそのままGa N基板の劈開方向に沿ってGa N基板の劈開が行われればよい。劈開方向が完全に近い状態で一致していれば、劈開によって共振面を形成する場合、共振面がより良好に形成できるので好ましい。また劈開方向が一致していない場合でも、第2の異種基板がGa N基板に接合しているので、Ga N基板を劈開する際に、Ga N基板の不要な割れが発生するのを防止できる。

【0039】本発明において、Ga Nの劈開方向としては、本発明者等が出願した特願平9-232676号公報に記載の面方位、例えば、(1-100)で表される面(M面)が挙げられる。ちなみに、M面とは窒化物半導体を正六角柱の六方晶系で近似した場合に、その六角柱の側面に相当する四角形の面に相当する面である。

【0040】上記本発明に用いられる第2の異種基板4は、少なくとも劈開性を有する材料であればよく、例えばSiC、Si、GaAs、GaP、InP、ZnS、ZnSe、ZnOなどが挙げられる。更に第2の異種基板4が導電性であると、n電極を第2の異種基板面に形成することが可能となり好ましい。また更に第2の異種基板4が高熱伝導性であると、第2の異種基板からの放熱性が可能となり、場合によっては窒化物半導体素子で発生する熱を放散するためのヒートシンクを新たに設けなくてもよく、製造工程が簡素化できるので好ましい。

【0041】第2の異種基板4をGa N基板2に接合する方法は、予め形成された第2の異種基板4の接合面と、第1の異種基板を除去して露出したGa N基板2の接合面とを鏡面状にして、それらの鏡面同士を張り合わせた後、熱圧着するウェハ接着の手法を用いることができる。あるいは、Ga N基板2及び第2の異種基板の接合面の間に導電性材料を介することにより接合させる、いわゆるメタルボンディングでも接合させることが可能である。この接合に用いられるメタルとしては、Au、Sn、Au-Sn、In、あるいはこれらの合金が挙げられる。

【0042】本発明において、第2の異種基板4の膜厚は、特に限定されないがGa N基板より厚膜であることが望ましく、具体的には20~5000μm、好ましくは50~2000μm、より好ましくは100~1000μmである。第2の異種基板4の膜厚が上記範囲であるとパッケージング、バルク抵抗(第2の異種基板にn電極を形成する場合)、Ga N基板(ウェハ)の物理的強度の点で好ましい。また、第2の異種基板4が低熱伝

導性の場合、物理的強度に放熱性を加味すると、第2の異種基板が高熱伝導性の場合より薄めにすることが放熱性の点で好ましい。

【0043】次に、第2の異種基板4をGa N基板2に接合したウェハをチップ状に分割し、図4に示すような素子が得られる。ウェハの分割は、第2の異種基板4を劈開しそれに伴ってGa N基板2及び素子構造が劈開される。第2の異種基板を劈開する方法としては、特に限定されないが、例えばスクライバー、ブレイカー等を用いることができる。

【0044】従来技術においては、Ga N基板を劈開すると不要な割れ等が発生し易かったが、本発明は、第2の異種基板4をGa N基板2に接合したことにより、Ga N基板の劈開性が良好となる。更に本発明は、Ga N基板2の反り、クラック及び欠けなどの発生が抑えられデバイス工程でのハンドリング性を向上させることができる。また更に、本発明は、第2の異種基板4に劈開性があるため、Ga N基板及びGa N基板上の素子構造3を形成している窒化物半導体層を良好に劈開することができる。また本発明の製造方法により得られる素子をレーザ素子として用いる場合、レーザの共振面を劈開によって良好に得ることができる。また、第2の異種基板が接合されていない80μm以上のGa N基板を用いる場合でも、Ga N基板の膜厚が厚いため物理的強度が向上し、不要な割れが抑えられ、劈開方向に沿って良好に劈開することができる。

【0045】劈開後、チップはアセンブリ工程へ移送され製品化される。アセンブリ工程では、第1の異種基板1が除去されているので熱の放散が良好となり、更に、第2の異種基板4が高熱伝導性であると放熱性がより良好となり、場合によってはヒートシンクを設けなくてもよく工程が簡素化される。

【0046】以下に、上記本発明の窒化物半導体素子の製造方法により得ることができる本発明の窒化物半導体素子について図4に示される窒化物半導体素子の模式的段面図を用いて説明する。本発明の窒化物半導体素子は、図4に示されるように、劈開性を有する第2の異種基板4上にGa N基板2を有し、そのGa N基板2上に窒化物半導体素子構造3を構成する少なくとも活性層を有する複数の窒化物半導体層を有して成る。ここで、Ga N基板2の第2の異種基板4に接している面(Ga N基板2の第2の主面)は、図1に示される第1の異種基板1(例えばサファイア基板)、窒化物半導体層101や保護膜102を除去した面である。また図4は、同一面側にn電極及びp電極(図示されてない)を設ける構造を示してあるが、電極の位置は特に限定されない。

【0047】本発明の窒化物半導体素子は、第2の異種基板4が、Ga N基板2の劈開方向と第2の異種基板4の劈開方向とが実質的に一致するように、Ga N基板に接合していることが、劈開面が良好となり好ましい。本



発明の窒化物半導体素子構造 3 を構成する複数の窒化物半導体層としては、特に限定されず、例えば公知のいずれの層構成を用いてもよい。また窒化物半導体素子の形状、電極等も特に限定されず、例えば公知のいずれのものを用いてもよい。また、本発明において、 $80\mu\text{m}$ 以上の GaN 基板を用いる場合は、図 4 に示された第 2 の異種基板が接合されていない窒化物半導体素子である。

#### 【0048】

【実施例】以下に図 1～4 を用い本発明の一実施例を示し本発明を更に詳細に説明するが、本発明はこれに限定

されない。  
 [実施例 1] 実施例 1 においては、GaN 基板からサファイア基板などを除去せずに素子構造を形成し、その後サファイア基板などを除去する場合について行った。以下にその詳細を示す。

【0049】2 インチφ、C 面を主面とするサファイアよりなる第 1 の異種基板 1 を MOVPE 反応容器内にセットし、温度を  $500^\circ\text{C}$  にして、キャリアガスに水素、反応ガスに TMG (トリメチルガリウム ( $\text{Ga}(\text{C}\text{H}_3)_3$  : TMG) 及びアンモニア ( $\text{NH}_3$ )) を用い、GaN よりなるバッファ層 (図示されていなし) を  $200$  オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層を成長後、温度を  $1050^\circ\text{C}$  にして、同じく GaN よりなるバッファ層より厚膜の窒化物半導体層 101 を  $5\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。バッファ層より厚膜の窒化物半導体層 101 は、Al 混晶比 X 値が  $0.5$  以下の  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 0.5$ ) を成長させることが望ましい。 $0.5$  を超えると、結晶欠陥というよりも結晶自体にクラックが入りやすくなってしまうため、結晶成長自体が困難になる傾向にある。また窒化物半導体層 101 の膜厚はバッファ層よりも厚い膜厚で成長させて、 $10\mu\text{m}$  以下の膜厚に調整することが望ましい。バッファ層としては  $\text{Ga}_y\text{Al}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < Y \leq 1$ ) の組成のものを成長させて形成される。

【0050】(GaN 基板 2 の形成) 保護膜 102 形成後、ウェーハを再度 MOVPE の反応容器内にセットし、温度を  $1050^\circ\text{C}$  にして、アンモニア、TMG を用いアンドープ GaN よりなる GaN 基板 2 を  $30\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【0051】以下に図 1 の窒化物半導体素子構造 3 の具体的な一実施例として図 5 に示す層構成として、上記の成長させた GaN 基板 2 上に下記の各層を積層させる。図 5 は窒化物半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0052】窒化物半導体層 101 を成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、この窒化物半導体層 101 の表面に、ストライプ状のフォトリソマスクを形成し、CVD 装置によりストライプ幅  $10\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔 (窓部)  $2\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  よりなる保護膜 102 を  $1\mu\text{m}$  の膜厚で形成する。保護膜の形状としてはストライプ状、ドット状、碁盤目状等どのような形状でも良いが、窓部

よりも保護膜の面積を大きくする方が、結晶欠陥の少ない GaN 基板 2 (下記に示す GaN 基板 2) が成長しやすい。

【0053】(GaN 基板 2 の形成) 保護膜 102 形成後、ウェーハを再度 MOVPE の反応容器内にセットし、温度を  $1050^\circ\text{C}$  にして、アンモニア、TMG を用いアンドープ GaN よりなる GaN 基板 2 を  $30\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【0054】以下に図 1 の窒化物半導体素子構造 3 の具体的な一実施例として図 5 に示す層構成として、上記の成長させた GaN 基板 2 上に下記の各層を積層させる。図 5 は窒化物半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【0055】(n 側バッファ層 11 = 兼 n 側コンタクト層) 上記 GaN 基板 2 (図 5 にはサファイア基板 1、窒化物半導体層 101 及び保護膜 102 などを図示していない) を反応容器内にセットし、温度を  $1050^\circ\text{C}$  まで上げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアと TMG (トリメチルガリウム)、不純物ガスとしてシランガスを用い、GaN 基板 2 上に  $\text{Si}$  を  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした GaN よりなる n 側バッファ層 11 を  $4\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。このバッファ層 11 は、図 5 のような構造の発光素子を作製した場合には n 電極を形成するためのコンタクト層としても作用する。さらに、この n 側バッファ層 11 は高温で成長させるバッファ層であり、例えばサファイア、スピネルのように窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に、 $900^\circ\text{C}$  以下の低温において、GaN、AlN 等を、 $0.5\mu\text{m}$  以下の膜厚で直接成長させるバッファ層とは区別される。

【0056】(クラック防止層 19) n 側バッファ層 11 成長後、温度を  $800^\circ\text{C}$  にして、原料ガスに TMG、TMI、アンモニア、不純物ガスにシランガスを用い、 $\text{Si}$  を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  よりなるクラック防止層 19 を  $500$  オングストロームの膜厚で成長させる。このクラック防止層 19 は In を含む n 型の窒化物半導体、好ましくは InGaIn で成長させることにより、Al を含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。なおこのクラック防止層は  $100$  オングストローム以上、 $0.5\mu\text{m}$  以下の膜厚で成長させることが好ましい。 $100$  オングストロームよりも薄い前記のようにクラック防止として作用しにくく、 $0.5\mu\text{m}$  よりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。

【0057】(n 側クラッド層 12 = 超格子層) 続いて、 $1050^\circ\text{C}$  で TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニア、シランガスを用い、 $\text{Si}$  を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした n 型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる第 1 の層を  $40$  オングストロームの膜厚で成長させ、続いてシランガス、TMA を止め、アンドープの GaN よりなる第 2 の層を  $40$  オングストロームの膜厚で成長させる。そして第 1 層 + 第 2 層 + 第 1 層 + 第 2 層 + ... と



のように超格子層を構成し、それぞれ100層ずつ交互に積層し、総膜厚0.8  $\mu\text{m}$ の超格子よりなるn側クラッド層12を成長させる。

【0058】(n側光ガイド層13) 続いて、シランガスを止め、1050℃でアンドープGaNよりなるn側光ガイド層13を0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5  $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。またこの層をアンドープの超格子層とすることもできる。超格子層とする場合にはバンドギャップエネルギーは活性層の井戸層よりも大きく、n側クラッド層のAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりも小さくする。

【0059】(活性層14) 次に、原料ガスにTMG、TMI、アンモニアを用いて活性層14を成長させる。活性層14は温度を800℃に保持して、アンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、アンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドーピングしても良い。不純物は井戸層、障壁層両方にドーピングしても良く、いずれか一方にドーピングしてもよい。

【0060】(p側キャップ層15) 次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、p側光ガイド層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp側キャップ層17を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp型キャップ層15は前に述べたように、0.1  $\mu\text{m}$ 以下の膜厚で形成し、膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0061】(p側光ガイド層18) 続いてCp<sub>2</sub>Mg、TMAを止め、1050℃で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層15よりも小さい、アンドープGaNよりなるp側光ガイド層18を0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n型光ガイド層13と同じくGaN、InGaNで成長させることが望ましい。なお、このp側光ガイド層をアンドープの窒化物半導体、不純物をドーピングした窒化物半導体よりなる超格子層とすることもできる。超格子層とする場合にはバンドギャップエネルギーは活性層の井戸層より大きく、p側クラッド層のAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりも小さくする。

【0062】(p側クラッド層17) 続いて、1050℃でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第3の層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAのみを止め、アンドープGaNよりなる第4の層を40オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこの操作をそれぞれ交互に100回繰り返し、総膜厚0.8  $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層17を形成する。

【0063】(p側コンタクト層18) 最後に、1050℃で、p側クラッド層17の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるp側コンタクト層18を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層18はp型のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(0 ≤ x, 0 ≤ y, x+y ≤ 1)で構成することができ、好ましくはMgをドーピングしたGaNとすれば、p電極21と最も好ましいオーミック接触が得られる。またp型Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nを含む超格子構造のp側クラッド層17に接して、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体をp側コンタクト層として、その膜厚を500オングストローム以下と薄くしているために、実質的にp側コンタクト層18のキャリア濃度が高くなりp電極と好ましいオーミックが得られて、素子の閾値電流、電圧が低下する。

【0064】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中700℃でアニーリングを行い、p型不純物をドーピングした層をさらに低抵抗化させる。

【0065】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図5に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層18と、p側クラッド層17とをエッチングして、4  $\mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。このように、活性層よりも上部にある層をストライプ状のリッジ形状とすることにより、活性層の発光がストライプリッジの下に集中するようになって閾値が低下する。特に超格子層よりなるp側クラッド層17以上の層をリッジ形状とすることが好ましい。

【0066】次にリッジ表面にマスクを形成し、RIEにてエッチングを行い、n側バッファ層11の表面を露出させる。露出させたこのn側バッファ層11はn電極23を形成するためのコンタクト層としても作用する。なお図5ではn側バッファ層11をコンタクト層としているが、GaN基板2までエッチングを行い、露出したGaN基板2をコンタクト層とすることもできる。

【0067】次にp側コンタクト層18のリッジ最表面にNiとAuよりなるp電極21をストライプ状に形成する。p側コンタクト層と好ましいオーミックが得られるp電極21の材料としては、例えばNi、Pt、Pd、Ni/Au、Pt/Au、Pd/Au等を挙げることができる。

【0068】一方、TiとAlよりなるn電極23を先

ほど露出させたn側バッファ層11の表面にストライプ状に形成する。n側バッファ層11、またはGa<sub>0.9</sub>N基板2と好ましいオーミックが得られるn電極23の材料としてはAl、Ti、W、Cu、Zn、Sn、In等の金属若しくは合金が好ましい。

【0069】次に、図5に示すようにp電極21と、n電極23との間に露出した窒化物半導体層の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介してp電極21と電氣的に接続したpパッド電極22、及びnパッド電極24を形成する。このpパッド電極22は実質的なp電極21の表面積を広げて、p電極側をワイヤーボンディング、ダイボンディングできるようにする作用がある。一方、nパッド電極24はn電極23の剥がれを防止する作用がある。

【0070】以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェハを研磨装置に移送し、サファイア基板、保護膜等を研磨により除去し、Ga<sub>0.9</sub>N基板2の表面(Ga<sub>0.9</sub>N基板の第2の主面)を露出させる。露出したGa<sub>0.9</sub>N基板の第2の主面と、膜厚500μmのGaAs(第2の異種基板)のGa<sub>0.9</sub>N基板と接合する面とを鏡面状にし、それら鏡面同士を張り合わせた後、熱圧着すること(ウェハ接着の手法)によりGa<sub>0.9</sub>N基板の第2の主面と第2の異種基板を接合させる。接合した後、第2の異種基板のGa<sub>0.9</sub>N基板と接合していない側の面を鏡面状とし、その面にAu/Snをボンディング用として付ける。

【0071】その後、Au/Sn側をスクライブして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザチップとした。次にチップをフェースアップ(GaAs基板とヒートシンクとが対向した状態)でヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度2.0kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.0Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、1000時間以上の寿命を示した。

【0072】更に、ウェハの物理的強度が向上し、デバイス工程でウェハの崩れが防止できると共に、劈開する際のGa<sub>0.9</sub>N基板の不要な割れが抑制でき、更に反りが抑えられハンドリング性の向上と歩留まりの向上が可能となった。

【0073】[実施例2] 実施例1において、Ga<sub>0.9</sub>N基板のサファイア基板を除去した面にGaAs基板(第2の異種基板)を接合する際に、Ga<sub>0.9</sub>N基板の劈開方向をGaAs基板の劈開方向とがほぼ一致するようにウェハ接着した他は同様にしてレーザ素子を製造した。その結果、実施例1とほぼ同様に良好な結果が得られ、更にGaAs基板をGa<sub>0.9</sub>N基板の劈開方向がほぼ一致しているので劈開性が実施例1より良好になった。

【0074】[実施例3] 図6は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、図5と同じくレーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の図を示している。以下この図を元に実施例3について説明する。

【0075】(Ga<sub>0.9</sub>N基板2の形成) 実施例1において、Ga<sub>0.9</sub>N基板2を成長させる際に、アンモニア、TMG、SiH<sub>4</sub>を用いSiを $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたGa<sub>0.9</sub>Nよりなる膜厚30μmで成長させる他は同様にしてGa<sub>0.9</sub>N基板2を成長させた。成長後、ウェハを研磨装置に移送し、サファイアや保護膜などを研磨により除去し、Ga<sub>0.9</sub>N基板2の表面を露出させ(第2の主面)、Ga<sub>0.9</sub>N基板2に第1の主面と第2の主面を形成する。

【0076】Ga<sub>0.9</sub>Nの第1の主面上に、実施例1と同様にしてn側バッファ層11(n側コンタクト層を兼ねる)、クラック防止層19、変調ドープされた超格子よりなるn側クラッド層12、及びアンドープn側光ガイド層13を順に成長させる。

【0077】(n側キャップ層20) 続いてTMG、TMA、アンモニア、シランガスを用い、n側光ガイド層13よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるn側キャップ層20を300オングストロームの膜厚で成長させる。

【0078】後は実施例1と同様にして活性層14、p側キャップ層15、アンドープp側光ガイド層16、p側クラッド層17、p側コンタクト層18を成長させる。

【0079】素子構造となる窒化物半導体層成長後、実施例1と同様にしてアニーリングを行い、p型不純物をドープした層をさらに低抵抗化させ、アニーリング後、図6に示すように最上層のp側コンタクト層18と、p側クラッド層17とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0080】リッジ形成後、p側コンタクト層18のリッジ最表面にNi/Auよりなるp電極21をストライプ状に形成し、p電極21以外の最表面の窒化物半導体層にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介してp電極21と電氣的に接続したpパッド電極22を形成する。

【0081】以上のようにして、p電極を形成したウェハの素子構造を有していないGa<sub>0.9</sub>N基板2の第2の主面に、実施例1と同様に膜厚600μmのSiを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ のn型のGaAs基板をウェハ接着する。Ga<sub>0.9</sub>N基板の第2の主面に接合したn型GaAsのGa<sub>0.9</sub>N基板に接していない面のほぼ全面にAu/Geのオーミック電極を形成し、その上にAu/Snよりなるボンディング用電極を付ける。

【0082】電極形成後Ga<sub>0.9</sub>N基板のM面(窒化物半導体を六方晶系で近似した場合に六角柱の側面に相当する

面)で劈開できるようにGaAs基板をスクライブして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、その劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とする。このレーザ素子も同様に室温において連続発振を示し、実施例1とほぼ同等の特性を示した。

【0083】更にハンドリング性及び歩留まりも実施例1と同様に良好であった。また、上記Ga<sub>0.5</sub>N基板とGaAs基板との接合を、ウエハ接着により行ったが、このウエハ接着に換えて、Au/Snを介してGa<sub>0.5</sub>N基板とn型GaAs基板とをメタルで接合しても同様な結果となった。

【0084】[実施例4] 実施例3において、n型Ga<sub>0.5</sub>N基板の素子構造を有していないGa<sub>0.5</sub>N基板の第2の主面にn型GaAs基板(第2の異種基板)を接合する際に、Ga<sub>0.5</sub>N基板の劈開方向とGaAs基板の劈開方向とがほぼ一致するようにウエハ接着した他は同様にしてレーザ素子を製造した。その結果、実施例3とほぼ同様に良好な結果が得られ、更にGaAs基板をGa<sub>0.5</sub>N基板の劈開方向がほぼ一致しているので劈開性が実施例3より良好になった。

【0085】[実施例5] 実施例3において、n型Ga<sub>0.5</sub>N基板を厚膜に成長させ、サファイア基板や保護膜を除去して膜厚80μmのGa<sub>0.5</sub>N基板を形成し、サファイア基板を除去して露出した面とは反対のn型Ga<sub>0.5</sub>N基板の面(第1の主面)に素子構造を形成し、n型Ga<sub>0.5</sub>N基板のサファイア基板を除去して露出した面にAu/Geよりなるオーミック電極を形成し、その上にAu/Snをボンディング用に付け、GaAs基板をGa<sub>0.5</sub>N基板に接合しない他は同様にして窒化物半導体レーザ素子を製造した。

【0086】その結果、実施例3とほぼ同様に良好な結果が得られ、厚膜のGa<sub>0.5</sub>N基板を用いているので、劈開する際にGa<sub>0.5</sub>N基板に不要な割れ等が生じることなく、良好な劈開面が得られた。

【0087】

【発明の効果】本発明は、Ga<sub>0.5</sub>N基板にGaAs等の第2の異種基板を接合したことにより、ウエハの反りの防止、割れ及び欠けなどの発生の防止ができ、これによりハンドリング性を向上させることができ、歩留まりも良好になった。更に本発明は、劈開の際のウエハの不要な割れを防止することができ、ウエハを容易にチップ化できる。

【0088】更に本発明は、サファイア等の熱伝導性の悪い基板を除去し、かつわて熱伝導性の良い基板を接合することにより、窒化物半導体素子で発生する熱を良好に放散でき、窒化物半導体素子の性能が向上する。更にGa<sub>0.5</sub>Nを厚く成長させて80μm以上のGa<sub>0.5</sub>N基板を用いることにより、物理的強度が向上し且つ劈開性が良好となり、Ga<sub>0.5</sub>Nの半導体を基板とすることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の窒化物半導体素子の製造工程の一実施の形態を示した模式断面図である。

【図2】図2は、本発明の窒化物半導体素子の製造工程の一実施の形態を示した模式断面図である。

【図3】図3は、本発明の窒化物半導体素子の製造工程の一実施の形態を示した模式断面図である。

【図4】図4は、本発明の窒化物半導体素子の製造工程により得られる窒化物半導体素子の一実施の形態を示した模式断面図である。

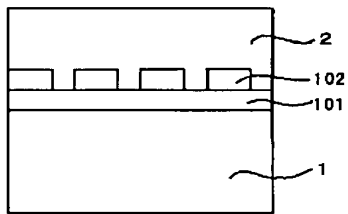
【図5】図5は、本発明の窒化物半導体素子の一実施の形態を示した模式的断面図である。

【図6】図6は、本発明の窒化物半導体素子の一実施の形態を示した模式的断面図である。

【符号の説明】

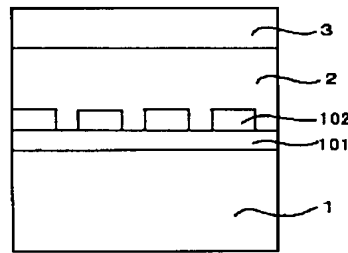
- 1・・・第1の異種基板
- 2・・・Ga<sub>0.5</sub>N基板
- 101・・・窒化物半導体層
- 102・・・保護膜
- 3・・・窒化物半導体素子構造
- 4・・・第2の異種基板
- 11・・・n側バッファ層
- 12・・・n側クラッド層
- 13・・・n側光ガイド層
- 14・・・活性層
- 15・・・p側キャップ層
- 16・・・p側光ガイド層
- 17・・・p側クラッド層
- 18・・・p側コンタクト層
- 20・・・n側キャップ層
- 21・・・p電極
- 22・・・pパッド電極
- 23・・・n電極
- 24・・・nパッド電極
- 25・・・絶縁膜

【図1】

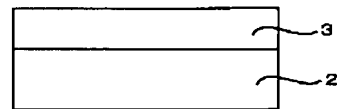


【図2】

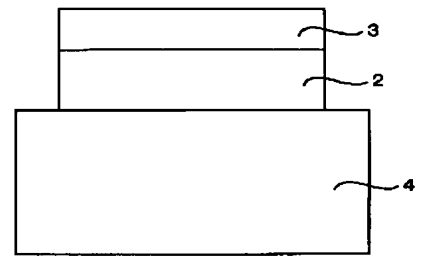
(a)



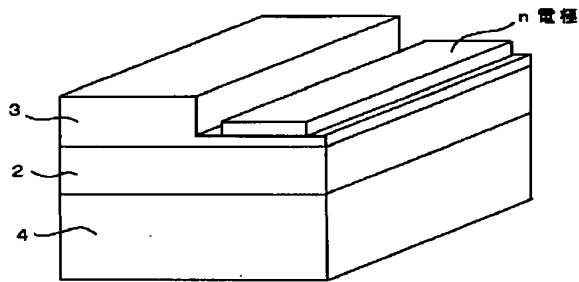
(b)



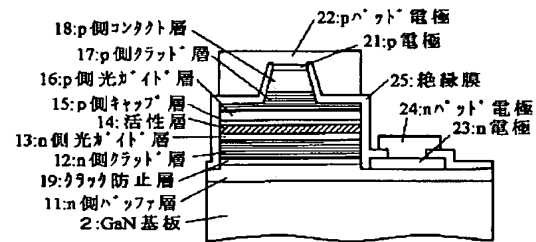
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

